

Astronomie II - Zusammenfassung Kapitel 15.2

Wie entstehen Galaxien?

Aus den Beobachtungsdaten zu sehr vielen Galaxien, insbesondere durch die Untersuchung der Rotverschiebung (\rightsquigarrow *Doppler-Effekt*), erkannte man dass sich alle beobachteten Galaxien mehr oder weniger schnell von uns entfernen. Daraus schloss man dass das Universum expandiert. Nun stellt sich aber die Frage, warum es keine allseits homogene Materieverteilung im Universum gibt, wie dies beispielsweise bei einem expandierenden Gas beobachtet werden kann: Wird ein ideales Gas, welches die Möglichkeit hat sich räumlich auszudehnen, erhitzt, so ergibt sich eine nahezu gleiche Teilchenanzahl pro Volumen. Warum also "verklumpt" Materie zu Galaxien, welche in sich stabile Gebilde darstellen?

Das **Top-Down Modell** [ELS (Eggen, Lynden-Bell, Sandage; 1962) Modell]

Grundsätzlich entstehen derartige Verklumpungen aufgrund der Eigengravitation einer (rotierenden) Materiewolke. Das Modell der **Top-Down Galaxienentstehung** besagt, dass eine Galaxie aus einer riesigen **protogalaktischen Wolke** entsteht. Der Entstehungsprozess selbst ist vergleichbar mit dem Prozess der Sternentstehung, eine Materiewolke kollabiert unter ihrer eigenen Gravitationskraft, verdichtet sich und bildet eine Galaxie. Dieser Kollaps findet im Top-Down Modell in **sehr kurzer Zeit** statt. Dabei entstehen Sterne des späteren stellaren Halos (Kugelsternhaufen), sowie der Dunkle Materie Halo zuerst, danach bildet sich erst die Scheibe langsam durch Akkretion von Gas aus. Daraus entsteht in diesem Modell eine rotierende Scheibe mit chemisch angereichertem Gas (\rightsquigarrow Sternentstehung). Aus den bisherigen Annahmen resultiert folgender **Widerspruch**:

Wäre eine Galaxie wie beschrieben aus einer rotierenden Materiewolke entstanden, so müsste der Halo ebenfalls eine messbare Rotation zeigen. Beobachtungen zeigen aber, dass der Halo einer Galaxie nicht rotiert. Außerdem sagt das Top-Down Modell einen Kollaps in ca. **400 Myr** voraus, das Alter von Kugelsternhaufen variiert jedoch um bis zu **3 Gyr**. Dieses Modell der Galaxienentstehung wurde stark kritisiert und ist heute weitgehend abgelöst vom:

Das Bottom-Up Modell Dieses von aktuellen Untersuchungen gestützte Modell beschreibt eine **hierarchische Struktur-bildung**. Im Gegensatz zum Top-Down Modell nimmt man hier an, dass der Großteil einer Galaxie nicht in einem relativ kurzen und turbulenten Prozess entsteht, sondern dass eine Entwicklung von kleineren zu größeren Strukturen stattfindet. Als Ursache für die Entstehung von Galaxien werden **Dichtefluktuationen** in der Verteilung der **dunklen Materie** gesehen. Diese Fluktuationen, deren Herkunft nicht geklärt ist, entstanden allem Anschein nach sehr kurze Zeit nach dem Urknall. Diese Dichtefluktuationen beschreiben Orte mit einem **sehr großen Gravitationspotential**. Aufgrund dieses Potentials bildet sich zunächst ein **Sphäroid** aus leuchtender sowie dunkler Materie. Die Dichte im Innern dieses Sphäroids ist sehr viel höher als außen, so dass die Entwicklung im Innern sehr viel schneller fortschreitet. Dies erklärt den alten, Metallreichen Bulge einer Galaxie. Im umliegenden Halo aus leuchtender und dunkler Materie geht die Entwicklung langsamer von statten. Man vermutet, dass sich aus den im Halo verteilten Gasmassen aufgrund ihrer Drehimpulse zunächst eine sehr dicke Scheibe mit Sternentstehung, dann nach ca. **400 Myr** die dünne Scheibe mit langsam abnehmender Skalenhöhe ausbildet.

Weiterhin besagt das Modell, dass das frühe Universum aus sehr vielen kleinen, meist Irregulären, (Zwerg-) Galaxien bestand. Größere Strukturen bildeten sich erst durch die **Verschmelzung** von mehreren kleinen Galaxien zu mittelgroßen elliptischen- oder Spiralgalaxien. Wie bereits aus der Hubble-Sequenz bekannt, stellen die **elliptischen Galaxien** die größten bekannten Galaxientypen dar. Diese entstehen laut dem Modell durch die Verschmelzung von bereits sehr großen Objekten, wie bspw. mehreren Spiralgalaxien. Aus diesem Prozess folgt die **chaotische Bewegung** der Einzelsterne in elliptischen Galaxien.

Messungen Ziel ist es, Objekte mit möglichst hoher Rotverschiebung auffindig zu machen und zu vermessen, da diese Aufschluss über die Entwicklung der ersten Galaxien und Protogalaxien des Universums geben könnten. Um solche Objekte zu finden beobachtet man zunächst "leere" Bereiche des Himmels und belichtet die Aufnahme sehr lange (10 Tage). Auf diesen Aufnahmen, welche optimalerweise außerhalb der Erdatmosphäre mit einem Weltraumteleskop gemacht werden, sind nach der langen Belichtungszeit **mehrere tausend Galaxien** zu erkennen, für welche dann die Rotverschiebung spektroskopisch oder photometrisch bestimmt werden kann (Bsp.: *Hubble Deep Field (HDF) Aufnahme und Hubble Ultra Deep Field Aufnahme*). So wurden Objekte mit einer Rotverschiebung von bis zu $z = 8$ (!) entdeckt. Allgemein stellt man fest, dass die Verschmelzungsrate von Galaxien im früheren Universum drastisch höher gewesen sein muss, ebenso die **Sternentstehungsrate**. Relativ sicher kann man sagen, dass für eine Rotverschiebung von $z = 1$ bis ca. $z = 2$ das Universum weniger als halb so alt war wie es heute ist. Einige Modelle besagen, dass für ca. $z = 6$ ein signifikanter Rückgang der Sternentstehungsrate zu erwarten ist, sicher ist jedoch, dass das Universum das Maximum dieser Rate bereits lange hinter sich hat.